

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 164**

51 Int. Cl.:

C22B 3/20 (2006.01)

C22B 11/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2015** E 15196464 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019** EP 3026130

54 Título: **Proceso de tratamiento para la extracción de elementos preciosos, básicos y raros**

30 Prioridad:

26.11.2014 ZA 201408682

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.06.2019

73 Titular/es:

**LIFEZONE LIMITED (100.0%)
4th Floor Ebene Skies Rue de l'Institut
Ebene, MU**

72 Inventor/es:

**LIDDELL, KEITH STUART;
SMITH, LISA ANNE y
ADAMS, MICHAEL DAVID**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 716 164 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso de tratamiento para la extracción de elementos preciosos, básicos y raros

5 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La invención se refiere a un proceso hidrometalúrgico para la recuperación y separación de elementos valiosos, en particular oro y plata, de una materia prima que comprende menas, concentrados y otros materiales refractarios, intratables o que responden pobremente de otro modo a las rutas de tratamiento convencionales. En particular, el proceso es un proceso integrado en uno o más procesos existentes de extracción de elementos valiosos.

Los cuerpos de mena polimetálicos que contienen múltiples metales valiosos de leyes inferiores resultan cada vez más atractivos para que las empresas de recursos evalúen su potencial de explotación, a pesar del mayor desafío metalúrgico que supone la recuperación y separación de tales elementos para obtener concentrados o productos comercializables. Generalmente, este es el caso de menas que contienen metales preciosos como oro y plata, metales del grupo del platino (MGP) y otros metales básicos y raros como níquel, cobalto, cobre, elementos de tierras raras (ETR), incluidos itrio y escandio, así como uranio, torio, manganeso, cinc, cadmio, molibdeno, vanadio, titanio y otros elementos de menor importancia como vanadio, germanio y galio.

Las rutas de procesos hidrometalúrgicos actuales para la extracción de metales valiosos de cuerpos de mena polimetálicos se describen en la publicación de solicitud de patente internacional n.º WO 99/60178, el denominado "proceso Kell" (véase la figura 1)¹, la publicación de solicitud de patente internacional n.º WO 2014/009928 y la publicación de solicitud de patente australiana n.º AU 2013263848. Todos estos procesos requieren como material de partida una mena o un concentrado de la mena y producen uno o más licores de lixiviación que contienen disueltos metales valiosos y otros elementos. Típicamente, el proceso Kell se aplica específicamente a concentrados que contienen MGP y metales básicos.

La parte esencial de la ruta del proceso Kell comprende las etapas de:

- (i) lixiviar una mena o concentrado hecho de una mena en una lixiviación con sulfato y oxidación a presión para disolver los sulfuros de los metales básicos contenidos en la mena o concentrado y formar un filtrado de la lixiviación con sulfato que contiene metales básicos y un residuo que contiene metales del grupo del platino (MGP);
- (ii) separar el filtrado de la lixiviación con sulfato del residuo;
- (iii) tostar o tratar térmicamente el residuo para formar un calcinado; y
- (iv) lixiviar el calcinado en una lixiviación con cloruro para disolver los MGP en una disolución y formar un filtrado de la lixiviación con cloruro para la recuperación de los MGP y un residuo de desecho sólido.

Sin embargo, una amplia gama de materias primas, que, en particular, comprenden menas refractarias con contenido de oro o plata o concentrados que contienen los metales preciosos oro o plata, son problemáticas porque resultan en bajas recuperaciones de estos metales, lo que hace que las rutas de los procesos convencionales como cianuración sean poco rentables o de otro modo inapropiadas técnicamente para el tratamiento de estos materiales².

Estas menas, concentrados y otros materiales refractarios o intratables pueden clasificarse dentro de varias categorías, que incluyen:

1. sulfuros **refractarios convencionales** (las partículas de oro o plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados) - se tratan típicamente por oxidación a presión o bacteriana, tostación y/o molienda ultrafina;
2. sulfuros **refractarios submicroscópicos** (denominados ocasionalmente "disolución sólida") - (las partículas de oro o plata son mucho menores que los tamaños de molienda convencionales, de manera que no pueden observarse con el microscopio electrónico de barrido y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados) - se tratan típicamente por oxidación a presión o bacteriana o tostación;
3. materiales con efecto "**preg-robbing**" (robo de disoluciones enriquecidas en inglés) (hay presentes materia carbonosa u otros minerales sorbentes como arcillas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por adsorción o "robo de disoluciones enriquecidas" del oro o la plata lixiviados de las disoluciones de lixiviación con cianuro) - se tratan típicamente por tostación o cegamiento con queroseno, junto con el uso de una disolución de cianuro más concentrada y mayor adición de carbono;
4. materiales **bloqueados por carbono** (hay presente materia carbonosa como querógeno que puede reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física) - se tratan típicamente por tostación;
5. sulfuros **doblemente refractarios** (las partículas de oro o plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados; también hay presente materia carbonosa u otros minerales sorbentes que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física o "robo de disoluciones enriquecidas" de las disoluciones de lixiviación con cianuro) - se tratan típicamente por tostación u oxidación alcalina a presión;

6. **relaves de calcinado** (residuo después de la tostación y subsiguiente lixiviación con cianuro de concentrados o menas que contienen oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

7. materiales **bloqueados por silicatos o aluminatos** (hay presentes materia o fases aluminosas/silíceas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física, recubrimiento o adsorción) - que típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

8. **material refractario que se considera que tiene microagrupaciones que contienen oro o MGP** (p. ej., "oro nanométrico", "oro nanodimensional", "aururos", etc., que pueden incluir también otros elementos, como Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La, etc., a cuya escala los enlaces pueden ser más fuertes que aquellos entre átomos interiores y, por consiguiente, el comportamiento químico de los metales preciosos puede verse alterado por el, así denominado, efecto "adhesivo") - típicamente no puede tratarse mediante procedimientos convencionales;

9. **escorias** (residuo después de la fundición de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

10. **relaves de amalgamación** (residuo después de la amalgamación con mercurio de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - se tratan típicamente mediante tostación, junto con una mayor adición de cianuro; y

11. **fases de minerales refractarios en menas** que contienen oro o plata (algunos ejemplos incluyen diversos minerales que lixivian lenta o pobremente con cianuro como electro Au-Ag, acantita Ag_2S , aurostibita $AuSb_2$, calaverita $AuTe_2$, silvanita $(Ag,Au)Te_2$, entre otros) - se tratan típicamente mediante tostación o cocción con cal, junto con una mayor adición de cianuro;

12. **desechos electrónicos, catalizadores agotados y otros desechos con contenido de metales preciosos** (una diversidad de tales materiales con una gama de características de respuesta metalúrgica se encuentra cada vez más disponible) - se tratan típicamente mediante una amplia gama de tecnologías de separación mecánica, pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas y biohidrometalúrgicas;

13. **concentrados no refractarios específicos** (en particular, casos en los que los concentrados son de baja ley, contienen elementos perjudiciales para el procesamiento convencional o el recurso es demasiado poco importante para justificar una instalación de tratamiento independiente) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales, a menos que pueda establecerse un acuerdo de tratamiento por encargo con una instalación adecuada.

El uso de procedimientos convencionales requeriría el desarrollo de un diagrama de flujo distinto y separado y la construcción de una planta independiente para cada tipo de material y, en algunos casos, no se considera que el material pueda tratarse de forma rentable mediante la tecnología disponible actualmente porque las menas contienen una combinación de categorías de los tipos de refractariedad anteriores.

Por lo tanto, se necesita un proceso integrado para el tratamiento y la recuperación de elementos valiosos, incluidos metales preciosos, básicos y raros y, en particular, oro o plata, de cualquiera o de una combinación de estos materiales, más bien que requerirse la construcción de una planta independiente para cada tipo de material. Además, sería útil si un proceso tal pudiera integrarse en los procesos existentes en las plantas, como en el proceso Kell esencial (según se reivindica en el documento WO 99/60178) o un proceso Kell modificado (según se reivindica en los documentos WO 2014/009928 o AU 2013263848), o en otros procesos de extracción de metales básicos y preciosos como la lixiviación en pilas, lo que tendría la ventaja del ahorro de costes de capital, operación e infraestructura. Un proceso en el que se produzcan *in situ* concentrados de metales valiosos de alta ley o productos de metales valiosos individuales ofrece beneficios económicos considerables al eliminar los cargos de refinación.

Además, el uso de cianuro, una sustancia química tóxica empleada convencionalmente en el procesamiento de oro y plata que requiere medidas de control cada vez más estrictas para satisfacer las inquietudes crecientes sobre la seguridad y el medio ambiente de los interesados y la comunidad, es problemático. Un proceso alternativo que no requiera su uso sería útil. Adicionalmente, los procesos convencionales generan SO_2 y otros contaminantes perjudiciales para el medio ambiente y se necesita un procedimiento alternativo, responsable con el medio ambiente.

RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con la invención, se proporciona un proceso hidrometalúrgico para la extracción de oro, plata o ambos y opcionalmente uno o más elementos adicionales, como elementos básicos, metales raros y/o elementos raros, de una materia prima refractaria o intratable, en que el proceso consta de las etapas de:

- (i) proporcionar la materia prima a un recipiente de reacción; y
- (ii) someter la materia prima a las siguientes etapas de lixiviación y otras asociadas:

- a) una etapa de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente a presión y/o en condiciones atmosféricas para producir una lechada de producto que comprende sulfatos de metales comercializables en disolución y un residuo sólido que contiene metales comercializables;

b) someter la lechada de la etapa a) a una etapa de acondicionamiento que comprende ácido sulfúrico a una concentración de aproximadamente 25-300 g/l o un tratamiento con álcali a un pH de aproximadamente 10-14;

5 c) separar el residuo sólido que contiene metales comercializables de los sulfatos de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de la etapa b) para obtener un residuo sólido separado;

d) someter el residuo sólido separado de la etapa c) anterior a una etapa de lixiviación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una disolución de lixiviación enriquecida ("pregnant leach solution" o PLS) de cloruro y un residuo sólido intermedio y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro;

10 e) someter la PLS de cloruro de la etapa d) anterior a una o más técnicas, como intercambio iónico (IX por sus siglas en inglés), quelación, tecnología de reconocimiento molecular (MRT por sus siglas en inglés), adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso en la PLS de cloruro;

20 f) someter el producto intermedio en forma de disolución de la etapa e) anterior a la recuperación de ácido clorhídrico, calcio y metales residuales por medio de una o más etapas, como precoccción, rectificación, destilación, adsorción, recoccción y/o pirohidrólisis, para obtener una lechada de producto que comprende un residuo sólido que contiene metales comercializables y sulfatos de metales comercializables en disolución y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro;

25 g) someter el residuo sólido de la etapa f) anterior a una etapa de relixiviación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una PLS de cloruro purificada y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro; y

30 h) recuperar el oro y la plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso de los productos intermedios sólidos o en forma de disolución de las etapas e), f) o g) anteriores,

35 en que el proceso incluye opcionalmente someter la materia prima a una o más de las siguientes etapas opcionales adicionales de lixiviación y otras asociadas:

40 i) someter el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la etapa e) a una etapa posterior de purificación y/o aumento de la ley que comprende una o más técnicas como IX, quelación, MRT, adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción;

45 j) someter la disolución de descarga de la etapa e), f) o g) a una etapa de sorción, mediante la cual los metales preciosos (MP) como oro y plata se adsorben a una o más resinas, como una resina IX o un sorbente, y los metales básicos se descargan en una disolución, seguida de la elución de los metales comercializables adsorbidos, como oro y plata, de la resina IX o el sorbente y la precipitación del oro y la plata del eluido mediante un reductor, o la incineración directa de la resina o el sorbente cargados para producir un concentrado de metales valiosos de alta ley o productos de metales valiosos individuales, o mediante la cual el oro y/o la plata comercializables se someten a una etapa posterior de precipitación con sulfuro para producir una segunda lechada de producto, seguida de una separación sólido-líquido de un residuo sólido secundario de la segunda lechada de producto para su purificación posterior por un procedimiento como los indicados en la etapa e), o la venta directa a una tercera parte;

50 k) someter la PLS de cloruro de la etapa g) a una o más técnicas, como IX, quelación, MRT, adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso en la PLS de cloruro;

55 l) separar el residuo sólido que contiene metales comercializables de los sulfatos de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de las etapas f), g), i), j) o k) y después proporcionar el residuo sólido separado resultante a la etapa b) o d);

60 m) recuperar los metales comercializables de los sulfatos metálicos en disolución del producto intermedio de mayor ley de la etapa i) por medio de técnicas como extracción con disolventes, IX, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción y/o reciclaje.

65

La etapa f) de recuperación y separación de ácido clorhídrico, calcio y metales básicos residuales de la invención puede comprender:

- 5 A) suministrar la disolución de descarga de la etapa e) a un evaporador de precocción junto con yeso de siembra, para generar así ácido clorhídrico gaseoso y un precipitado de yeso, a lo que sigue una separación sólido-líquido para obtener yeso precipitado para su recuperación y una disolución de descarga tratada;
- 10 B) (aa) suministrar la disolución de descarga de la etapa A) a una columna de rectificación de ácido sulfúrico o un recocedor junto con ácido sulfúrico para generar así ácido clorhídrico gaseoso y una disolución de ácido sulfúrico que comprende metales básicos y/o raros comercializables y/o recuperables como cobre, níquel, cobalto, rodio, rutenio, iridio, vanadio, germanio, galio o escandio; o
- 15 (bb) suministrar la disolución de descarga de la etapa A) a un reactor de pirohidrólisis para obtener una lechada que comprende un residuo sólido de óxido de hierro para su recuperación y una disolución de metales básicos y/o raros, a lo que sigue una separación sólido-líquido;
- 20 C) someter la disolución de ácido sulfúrico generada en la etapa B) (aa) o la disolución de metales básicos y/o raros de la etapa B) (bb) a una etapa de enfriamiento y envejecimiento, mediante la cual las sales sulfato de los metales se cristalizan o se someten a una etapa de sorción y se recuperan, por ejemplo, por evaporación o precipitación y/o se reciclan de vuelta a un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell esencial; y
- D) someter el ácido clorhídrico gaseoso de la etapa A) o la etapa B) (bb) a destilación y absorción, para recuperar así una disolución de ácido clorhídrico.

El medio de lixiviación de cloruro de la invención puede tener un pH de entre aproximadamente 2,5 y 7,5, mantenido a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C, o una acidez libre de entre aproximadamente 50 y 300 g/l de HCl, mantenida a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C.

25 La etapa de lixiviación con cloruro de la invención puede realizarse por lixiviación atmosférica o en autoclave a presión con salmuera salina en condiciones oxidantes.

30 El proceso de la invención puede integrarse en un proceso existente como un proceso Kell esencial o un proceso de lixiviación en pilas convencional para la recuperación de metales básicos.

35 Esta divulgación (no de acuerdo con la invención) describe también en una primera parte un proceso hidrometalúrgico para la extracción de oro, plata o ambos y opcionalmente uno o más elementos adicionales como MGP, elementos básicos, metales raros y/o elementos raros, de una materia prima que comprende un material refractario o intratable, en que el proceso comprende las etapas de:

- (i) proporcionar la materia prima a un recipiente de reacción;
- (ii) someter la materia prima a las siguientes etapas de lixiviación:

- 40 a) opcionalmente, una etapa de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente a presión y/o en condiciones atmosféricas para producir una lechada de producto que comprende sulfatos de metales comercializables en disolución y un residuo sólido que contiene metales comercializables;
- 45 b) someter opcionalmente la lechada de la etapa a) a una etapa de acondicionamiento que comprende ácido sulfúrico a una concentración de aproximadamente 25-300 g/l o un tratamiento con álcali a un pH de 10-14 (incluida, por ejemplo, una cocción con cal);
- 50 c) someter opcionalmente el residuo sólido de a) o b) a una etapa de tratamiento térmico a aproximadamente 300-700 °C o aproximadamente 700-1.000 °C en condiciones oxidantes y/o reductoras;
- d) someter la materia prima o el residuo sólido de la etapa a) o, en caso relevante, b) o c) anterior a una etapa de lixiviación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una disolución de lixiviación enriquecida (PLS) de cloruro;
- 55 e) someter la PLS de cloruro de la etapa d) anterior a una o más técnicas, como intercambio iónico (IX), quelación, tecnología de reconocimiento molecular (MRT), adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como cualquier MGP asociado de menor importancia y otros metales básicos o raros valiosos en la PLS de cloruro;
- 60 f) someter opcionalmente el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la etapa e) anterior a una etapa posterior de purificación y/o aumento de la ley que comprende una o más técnicas como IX, quelación, MRT, adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción;
- 65 g) someter opcionalmente el producto intermedio en forma de disolución de la etapa e) anterior a la recuperación de ácido clorhídrico, calcio y metales residuales, por medio de una o más etapas, como precocción, rectificación, destilación, adsorción, recocción y/o pirohidrólisis, para obtener una lechada de producto que comprende un residuo sólido que contiene metales comercializables y sulfatos de metales comercializables en disolución;

h) someter opcionalmente el residuo sólido de la etapa g) anterior a una etapa de relxivación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una PLS de cloruro purificada;

5 i) someter opcionalmente la disolución de descarga de la etapa e), g) o h) a una etapa de sorción, mediante la cual los MP comercializables se adsorben a una o más resinas o sorbentes y los metales básicos se descargan en una disolución, o a una etapa posterior de precipitación con sulfuro para producir una segunda lechada de producto, seguida de una separación sólido-líquido de un residuo sólido secundario de la segunda lechada de producto para su purificación posterior por un procedimiento como los indicados en la etapa e) anterior, o la venta directa a una tercera parte;

10 j) someter opcionalmente la PLS de cloruro de la etapa h) a una o más técnicas, como intercambio iónico (IX), quelación, tecnología de reconocimiento molecular (MRT), adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como así como cualquier MGP asociado de menor importancia y otros metales básicos o raros valiosos en la PLS de cloruro;

15 k) separar opcionalmente el residuo sólido que contiene metales comercializables de los sulfatos de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de las etapas a) o, en caso relevante, b) f), g), i) o j) y después proporcionar el residuo sólido separado resultante a cualquiera de las etapas b), c) o d);

20 l) separar opcionalmente el residuo sólido que contiene metales comercializables de los cloruros de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de la etapa d) y después proporcionar la PLS de cloruro separada resultante a la etapa e);

25 m) recuperar opcionalmente los metales comercializables de los sulfatos de metales en disolución de la lechada de producto de la etapa a) o, en caso relevante, b) y/o del producto intermedio de mayor ley de la etapa f) y/o del residuo de sulfatos de metales producido en la etapa g) por medio de técnicas como extracción con disolventes, IX, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción, reciclaje y/u otras técnicas conocidas por los expertos en la técnica, sobre la base de consideraciones tecnoeconómicas; y

30 n) someter opcionalmente la materia prima, el producto de mena intermedio o el residuo sólido de la etapa a) o b) a un tratamiento térmico para producir un calcinado tratado térmicamente antes de someterlo a la etapa d) y en que el tratamiento térmico se realiza a aproximadamente 80-750 °C durante hasta 120 minutos o aproximadamente 300-700 °C durante de 10 a 30 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, y posteriormente se realiza opcionalmente un tratamiento térmico adicional a aproximadamente 500-1.000 °C durante hasta 120 minutos o a aproximadamente 700-1.000 °C durante de 30 a 120 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, y en que, cuando se realizan los dos tratamientos térmicos, dichos tratamientos térmicos se realizan como etapas individuales de un proceso de tratamiento térmico secuencial o como una etapa combinada.

El material refractario o intratable de esta divulgación (no de acuerdo con la invención) puede seleccionarse del grupo que consta de menas, concentrados, residuos y otros materiales de las categorías siguientes:

40 (i) sulfuros refractarios convencionales, en los que las partículas de oro y plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados;

45 (ii) sulfuros refractarios submicroscópicos, también denominados sulfuros refractarios en "disolución sólida", en los que las partículas de oro o plata son mucho menores que los tamaños de molienda convencionales, de manera que no pueden observarse con el microscopio electrónico de barrido y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados;

50 (iii) materiales con efecto "preg-robbing" (robo de disoluciones enriquecidas), en los que hay presentes materia carbonosa u otros minerales sorbentes como arcillas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por adsorción o "robo de disoluciones enriquecidas" del oro o la plata lixiviados de las disoluciones de lixiviación de cianuro;

(iv) materiales bloqueados por carbono, en los que hay presente materia carbonosa como querógeno que puede reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física;

55 (v) sulfuros doblemente refractarios, en los que las partículas de oro o plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados y en los que también hay presente materia carbonosa u otros minerales sorbentes que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física o "robo de disoluciones enriquecidas" de las disoluciones de lixiviación con cianuro;

(vi) relaves de calcinado, que son el residuo después de la tostación y subsiguiente lixiviación con cianuro de concentrados o menas que contienen oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante;

60 (vii) materiales bloqueados por silicatos o aluminatos, en los que hay presentes materia o fases aluminosas/silíceas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física, recubrimiento o adsorción;

65 (viii) material refractario que se considera que tiene microagrupaciones que contienen oro o MGP, incluidos "oro nanométrico", "oro nanodimensional" y "aururos", que pueden incluir también otros elementos, como Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs y La, a cuya escala los enlaces pueden ser más fuertes que aquellos entre átomos interiores y, por consiguiente, el comportamiento químico de los metales preciosos puede verse alterado por el, así denominado, efecto "adhesivo";

(ix) escorias, que son el residuo después de la fundición de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante;

(x) relaves de amalgamación, que son el residuo después de la amalgamación con mercurio de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante;

5 (xi) fases de minerales refractarios en menas que contienen oro o plata, incluidos diversos minerales que lixivian lenta o pobremente con cianuro como electro Au-Ag, acantita Ag_2S , aurostibita $AuSb_2$, calaverita $AuTe_2$ o silvanita $(Ag,Au)Te_2$, entre otros;

(xii) desechos electrónicos, catalizadores agotados y otros desechos con contenido de metales preciosos; y

10 (xiii) concentrados no refractarios específicos, incluidos casos en los que el procesamiento convencional no es posible (p. ej., está prohibido el uso de cianuro), los concentrados son de baja ley, contienen elementos perjudiciales para el procesamiento convencional o el recurso es demasiado poco importante para justificar una instalación de tratamiento independiente.

15 La etapa de separación del residuo sólido que contiene metales comercializables de esta divulgación (no de acuerdo con la invención) puede realizarse por filtración o por cualquier otro medio de separación sólido-líquido conocido por los expertos en la técnica. En esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la materia prima mena, concentrado, residuo o material de desecho de (i) puede procesarse inicialmente por trituración, molienda o puede ser tal como se extrae. Alternativa o adicionalmente, la materia prima puede someterse a una etapa de beneficio para producir un producto de mena intermedio para proporcionar al recipiente de reacción. La etapa de beneficio

20 puede realizarse por una combinación de trituración, molienda, cribado, ordenación, calibrado, clasificación, separación magnética, separación electrostática, separación por flotación o gravedad, para concentrar así los metales valiosos o rechazar un componente de ganga, o por otros medios de beneficio conocidos por los expertos en la técnica.

25 El tratamiento térmico a aproximadamente 80-750 °C durante hasta 120 minutos, típicamente a aproximadamente 300-700 °C durante de 10 a 30 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, puede realizarse en esta divulgación (no de acuerdo con la invención) para retirar componentes volátiles del residuo sólido y reducir o invalidar las características de robo de disoluciones enriquecidas del material, a la vez que fases de minerales refractarios como jarositas argentíferas se hacen adecuadas para la recuperación por medio de una subsiguiente

30 lixiviación.

Adicionalmente en esta divulgación (no de acuerdo con la invención), el tratamiento térmico a aproximadamente 500-1.000 °C durante hasta 120 minutos, típicamente a aproximadamente 700-1.000 °C durante de 30 a 120 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, puede realizarse para acondicionar los metales

35 comercializables para que sean solubles en el medio de lixiviación de cloruro.

La etapa de acondicionamiento ácido o alcalino en caliente o la etapa de lixiviación atmosférica en esta divulgación (no de acuerdo con la invención) pueden ser para conseguir la retirada o la conversión del hierro como jarosita o sulfato férrico básico (SFB) para liberar la plata, así como potencialmente sulfatos de hierro, aluminio y magnesio, a la fase de disolución.

40

En una segunda parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la PLS de cloruro de la etapa d) y el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la etapa e) en la primera parte anterior pueden someterse a una etapa de sorción, mediante la cual los metales comercializables se adsorben a una resina o un sorbente y los

45 metales básicos se descargan en una disolución.

En una tercera parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la PLS de cloruro de la etapa d) y el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la etapa e) en la primera parte anterior pueden someterse a una precipitación y purificación que comprende las etapas siguientes:

50

(i) someter la PLS de cloruro de la etapa d) anterior, el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la misma de la etapa e) anterior o ambos a una etapa de reducción y precipitación con sulfuro por adición de una disolución que contiene uno o una combinación de sales o ácidos de entre sulfuro, sulfuro de hidrógeno, tiosulfato, metabisulfito o sulfito, o un gas como dióxido de azufre o sulfuro de hidrógeno, para producir así una

55 lechada de producto que comprende un residuo sólido o subproducto que contiene azufre elemental, sulfuros metálicos y/o aleaciones y una disolución de descarga;

(ii) separar opcionalmente el residuo sólido de la etapa (i) de esta parte de la disolución de descarga por un medio de separación sólido-líquido como filtración, a temperaturas de entre aproximadamente 10 y 130 °C;

(iii) someter opcionalmente el residuo sólido de la etapa (ii) de esta parte a una serie de etapas de purificación y recuperación que comprenden:

60

a) una etapa de retirada de azufre que comprende la sublimación del residuo sólido a temperaturas de entre aproximadamente 200 y 500 °C (típicamente en un horno u otro dispositivo de tratamiento térmico adecuado), para producir un residuo sólido y un producto de azufre por sublimación, adsorción o lavado;

65 b) someter opcionalmente el residuo sólido de la etapa a) de esta parte a una etapa de retirada del azufre que comprende la disolución del residuo sólido (por ejemplo, en un recipiente agitado u otro reactor de contacto

adecuado) en un disolvente adecuado para azufre como, pero sin limitarse a: hidrocarburos aromáticos (p. ej., xileno y/o sus isómeros o mezclas (como xilol), tolueno, etilbenceno, etc.); hidrocarburos clorados o sulfurados (p. ej., tetracloruro de carbono, cloroformo, disulfuro de carbono, etc.); o ligandos que contiene azufre (p. ej., sulfito, sulfuro, etc.), a temperaturas de entre aproximadamente 10 y 130 °C, para obtener un residuo sólido y un producto de azufre por sublimación, adsorción o lavado;

c) someter el residuo sólido de las etapas a) y opcionalmente b) de esta parte, en caso relevante, a una lixiviación con oxidación a presión a temperaturas de entre aproximadamente 110 y 230 °C;

d) someter el residuo sólido de la etapa c) anterior a una lixiviación atmosférica con ácido sulfúrico a temperaturas de entre aproximadamente 10 y 110 °C para obtener una lechada que comprende un residuo sólido como metales comercializables y una disolución lixiviada con sulfato;

e) separación sólido-líquido del residuo sólido que comprende metales comercializables de la etapa d) de esta parte de la disolución lixiviada con sulfato, por ejemplo, por filtración o por medio de cualquier otro dispositivo de separación sólido-líquido adecuado, a temperaturas de entre aproximadamente 10 y 130 °C;

f) someter opcionalmente la disolución lixiviada de sulfato de la etapa e) de esta parte a una etapa de sorción, mediante la cual los metales comercializables se adsorben a una resina o un sorbente y los metales básicos se descargan en una disolución;

g) someter la disolución lixiviada con sulfato de la etapa e) de esta parte y, en caso relevante, la disolución de descarga de la etapa f) de esta parte a envejecimiento, evaporación, precipitación y/o reciclaje en un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell (por ejemplo, según se reivindica en cualquiera de los documentos WO 99/60178, WO 2014/009928 o AU 2013263848); y

(iv) someter opcionalmente la disolución de descarga de la etapa (ii) de esta parte a una etapa de sorción, mediante la cual los metales comercializables se adsorben a una resina o un sorbente y los metales básicos se descargan en una disolución, o a una etapa posterior de precipitación con sulfuro para producir una segunda lechada de producto, seguida de una separación sólido-líquido de un residuo sólido secundario de la segunda lechada de producto para su purificación posterior por un procedimiento como los indicados en (iii) anteriormente, o la venta directa a una tercera parte.

En una cuarta parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la disolución de descarga de la etapa (ii) de la tercera parte anterior y/o el producto intermedio en forma de disolución de la etapa e) de la primera parte anterior pueden someterse a una etapa de recuperación y separación de ácido clorhídrico, calcio y metales básicos residuales que comprende:

a) suministrar la disolución de descarga y/o el producto intermedio en forma de disolución a un evaporador de precocción junto con yeso de siembra, para generar así ácido clorhídrico gaseoso y un precipitado de yeso, a lo que sigue una separación sólido-líquido para obtener yeso precipitado para su recuperación y una disolución de descarga tratada;

b) suministrar la disolución de descarga de la etapa a) de esta parte a una columna de rectificación de ácido sulfúrico o un recocedor junto con ácido sulfúrico, para generar así ácido clorhídrico gaseoso y una disolución de ácido sulfúrico que comprende metales básicos y/o raros comercializables y/o recuperables como cobre, níquel, cobalto, rodio, rutenio, iridio, vanadio, germanio, galio o escandio;

c) alternativamente, suministrar la disolución de descarga de la etapa a) de esta parte a un reactor de pirohidrólisis para obtener una lechada que comprende un residuo sólido de hierro para su recuperación y una disolución de metales básicos y/o raros, a lo que sigue una separación sólido-líquido;

d) someter la disolución de ácido sulfúrico generada en la etapa b) de esta parte y/o la disolución de metales básicos y/o raros de la etapa c) de esta parte a una etapa de enfriamiento y envejecimiento, mediante la cual las sales sulfato de los metales se cristalizan o se someten a una etapa de sorción y se recuperan, por ejemplo, por evaporación o precipitación y/o se reciclan de vuelta a un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell esencial (por ejemplo, según se reivindica en cualquiera de los documentos WO 99/60178, WO 2014/009928 o AU 2013263848);

e) someter el ácido clorhídrico gaseoso de la etapa a) o la etapa b) de esta parte a destilación y absorción, para recuperar así una disolución de ácido clorhídrico, en que la disolución de ácido clorhídrico recuperada se recicla opcionalmente de vuelta a la etapa de lixiviación con cloruro d) de la primera parte.

Tal como se señala anteriormente, el ácido clorhídrico recuperado puede reciclarse de vuelta a la etapa de lixiviación con cloruro d) de la primera parte. La disolución de ácido clorhídrico recuperada puede reciclarse de vuelta a una etapa de lixiviación con cloruro o a una etapa de cloración de un circuito primario de recuperación de metales preciosos de un proceso Kell, por ejemplo, según se reivindica en los documentos WO 99/60178, WO 2014/009928 o AU 2013263848.

Por ejemplo, el ácido sulfúrico que contiene metales básicos y/o raros comercializables o recuperables de la etapa b) anterior puede comprender sales sulfato de metales como cobre, níquel, cobalto, rodio, rutenio, iridio, vanadio, germanio, galio o escandio.

La materia prima puede comprender un material individual o una mezcla de materiales de distinta naturaleza.

El proceso de esta divulgación (no de acuerdo con la invención) puede comprender opcionalmente además una etapa inicial de sometimiento de la PLS de cloruro de la etapa d) en la primera parte a una etapa de envejecimiento para la cristalización de sílice, que comprende:

- 5 (i) suministrar la PLS de cloruro a un recipiente de almacenamiento;
 (ii) añadir sólidos de sílice de siembra a la PLS de cloruro;
 (iii) dejar reposar la PLS de cloruro a temperatura ambiente para que precipite un residuo sólido que comprende sílice;
 10 (iv) separar el residuo sólido precipitado que comprende sílice de la disolución de (iii) anterior para producir una disolución empobrecida en sílice; y
 (v) suministrar la disolución empobrecida en sílice de (iv) anterior a la etapa (i) del proceso de acuerdo con la primera parte.

15 El proceso de esta divulgación (no de acuerdo con la invención) puede comprender opcionalmente una etapa inicial de sometimiento de la PLS de cloruro de la etapa d) en la primera parte a una etapa de concentración para producir una PLS concentrada por uno o más de entre:

- 20 a) evaporación con recuperación por condensación de HCl; y/o
 b) ósmosis inversa (RO), nanofiltración (NF), filtración u otro procedimiento de separación a base de membranas.

Las etapas de sorción del proceso descrito (no de acuerdo con la invención) pueden comprender una o más de las etapas siguientes:

- 25 a) poner en contacto la disolución con una resina de intercambio iónico (IX) u otro sorbente adecuado, mediante el cual los metales comercializables como oro, plata y MGP, si están presentes, se adsorben a la resina o el sorbente y los metales básicos se descargan en una disolución; y/o
 b) eluir los metales comercializables adsorbidos como oro, plata y MGP, si están presentes, de la resina IX o el sorbente y precipitar el oro, la plata y los MGP, si están presentes, del eluido con un reductor o, si hay MGP
 30 de alta ley o productos de metales valiosos individuales; y/o
 c) incinerar directamente la resina o el sorbente cargados para producir un concentrado de metales valiosos de alta ley o productos de metales valiosos individuales; y/o
 d) procesar opcionalmente con posterioridad los metales comercializables producidos por cualquiera de las etapas (a) a (c) anteriores.

35 La etapa de elución (b) anterior puede realizarse con una disolución que comprende tiourea ácida, sales de sulfito o hidrosulfito o cloruro, u otros eluyentes conocidos por los expertos en la técnica.

40 En otra parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), las técnicas descritas en el documento WO 2014/009928 pueden aplicarse al proceso de esta divulgación para recuperar así ácido sulfúrico y precipitar un producto de hierro potencialmente comercializable o almacenable. Específicamente, los procesos divulgados (no de acuerdo con la invención) pueden comprender además las etapas siguientes:

- 45 a) someter la materia prima a una etapa de oxidación a presión modificada para separar selectivamente los metales básicos de los metales preciosos en un medio de sulfato, en que la etapa de oxidación a presión modificada oxida parcial o totalmente los minerales de sulfuros de metales básicos a una mezcla de sulfato y azufre elemental, para producir una lechada de producto que contiene sulfatos de metales básicos en disolución y un residuo sólido que contiene metales preciosos, junto con una mezcla de sulfato y azufre elemental;
 50 b) la lechada de producto de la etapa de oxidación a presión modificada a) de esta parte se somete opcionalmente a una etapa de acondicionamiento ácido en caliente o de lixiviación atmosférica para conseguir la retirada de otros elementos como sulfatos de hierro y de aluminio y magnesio a la fase de disolución;
 c) la lechada de producto de la etapa de oxidación a presión modificada a) de esta parte y/o la etapa de lixiviación atmosférica b) de esta parte se filtra para proporcionar un residuo sólido que contiene metales preciosos, junto con una mezcla de sulfato y azufre elemental y un filtrado que contiene sulfatos de metales
 55 básicos;
 d) el residuo sólido de la etapa c) de esta parte se somete a un tratamiento térmico para retirar el sulfato y el azufre elemental del residuo sólido como disulfuro, dióxido de azufre y/o sulfuro de hidrógeno gaseoso; y para acondicionar los metales preciosos para que sean solubles en un medio de cloruro;
 e) el residuo sólido tratado de la etapa d) de esta parte se somete a una recuperación de metales preciosos por
 60 lixiviación en un medio de lixiviación de cloruro para recuperar los metales preciosos; y
 f) opcionalmente, la PLS de cloruro se somete a extracción con disolventes para retirar hierro adicional.

Además, pueden emplearse tecnologías como precipitación o cristalización en el proceso de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), también sobre la PLS o disoluciones de sulfato de cobre, para producir un producto de hidróxido o sulfato férrico o ferroso potencialmente comercializable o almacenable, a la vez que se recupera el ácido sulfúrico en una corriente adecuada para reciclaje.

En otra parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), puede aplicarse una lixiviación atmosférica convencional o a baja presión con ácido sulfúrico directamente a la lechada de producto que comprende la PLS de sulfato y el residuo sólido de la etapa a) de la primera parte de esta divulgación, para retirar así el exceso de sulfatos de hierro del residuo sólido y pasarlos a la PLS de sulfato. La PLS de sulfato puede someterse entonces a una precipitación de hidróxido férrico con burbujeo de aire u oxígeno en condiciones atmosféricas o presurizadas para retirar el exceso de sulfatos de hierro.

Alternativa o adicionalmente a la lixiviación atmosférica convencional o a baja presión con ácido sulfúrico aplicada directamente a la lechada de producto que comprende la PLS de sulfato y el residuo sólido de la etapa a) de la primera parte de esta divulgación, en que el residuo sólido se somete a un tratamiento térmico, el exceso de hierro soluble puede retirarse del calcinado tratado térmicamente.

El medio de lixiviación de cloruro de la etapa e) de la primera parte de esta divulgación puede contener cloruro de hierro y puede tratarse por presión, precipitación o cristalización, concentrarse por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, o tratarse por burbujeo/rectificación, pirohidrólisis u otra tecnología conocida por los expertos en la técnica, para producir un producto con contenido de hierro.

El medio de lixiviación de cloruro de la etapa d) de la primera parte de esta divulgación puede comprender ácido clorhídrico o salmuera salina, junto con un agente oxidante como cloro, hipoclorito, compuestos nítricos, peróxido de hidrógeno u otros agentes oxidantes conocidos por los expertos en la técnica, y el material refractario de la etapa (i) o el residuo sólido de la etapa a) de la primera parte de esta divulgación pueden lixivarse en condiciones oxidantes, para generar así una PLS de cloruro que comprende uno o más elementos comercializables como Au, Ag, MGP, así como Ni, Co, Cu, ETR, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V y Ti.

La PLS de cloruro que comprende uno o más elementos comercializables, como Au, Ag, MGP, así como Ni, Co, Cu, ETR, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V y Ti, puede someterse a la separación y/o recuperación de uno o más elementos comercializables por medio de técnicas como extracción con disolventes, IX, precipitación mediante hidróxidos, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción u otras técnicas conocidas por los expertos en la técnica, sobre la base de consideraciones tecnoeconómicas.

Los procesos térmicos divulgados (no de acuerdo con la invención) pueden realizarse como etapas individuales de un proceso térmico secuencial o como una etapa combinada. El medio de lixiviación oxidante de cloruro expuesto anteriormente o el medio de lixiviación de cloruro de la etapa d) o la etapa e) de la primera parte de esta divulgación pueden contener cloruro de hierro y pueden tratarse por presión, precipitación o cristalización, concentrarse por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, o tratarse por burbujeo/rectificación, pirohidrólisis u otra tecnología conocida por los expertos en la técnica para producir un producto con contenido de hierro.

En otra parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la etapa de lixiviación con cloruro d) de la primera parte de esta divulgación puede comprender un medio de lixiviación de cloruro menos ácido, con un pH de entre aproximadamente 2,5 y 7,5, mantenido a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C.

En otra parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la etapa de lixiviación con cloruro d) de la primera parte de esta divulgación puede comprender un medio de lixiviación de cloruro con una acidez libre de entre aproximadamente 50 y 300 g/l de HCl, mantenida a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C.

De acuerdo con otra parte de esta divulgación (no de acuerdo con la invención), la etapa de lixiviación con cloruro d) de la primera parte de esta divulgación puede realizarse por lixiviación atmosférica o en autoclave a presión con salmuera salina en condiciones oxidantes.

Uno o más de los procesos de la divulgación (no de acuerdo con la invención) pueden integrarse en un proceso existente como, por ejemplo, un "proceso Kell" esencial según se reivindica en el documento WO 99/60178 o un proceso Kell modificado según se reivindica en los documentos WO 2014/009928 o AU 2013263848, o un proceso de lixiviación en pilas convencional para la recuperación de metales básicos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La **figura 1** es un diagrama de flujo en bloques simplificado del proceso Kell de la técnica anterior.

La **figura 2** es un diagrama de flujo en bloques simplificado que muestra el proceso Kell modificado de la presente invención (KellGold).

La **figura 3** es un diagrama de flujo en bloques simplificado que ilustra la integración del proceso KellGold de la presente invención con el proceso Kell para la recuperación de MGP y otros procesos convencionales.

La **figura 4** es un diagrama de flujo en bloques simplificado que ilustra la integración del proceso KellGold de la presente invención con un proceso de lixiviación en pilas convencional para la recuperación de metales básicos, a modo de ilustración.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un proceso hidrometalúrgico para la recuperación y separación de elementos valiosos, en particular oro y plata, de una materia prima que comprende menas, concentrados y otros materiales refractarios, intratables o que responden pobremente de otro modo a las rutas de tratamiento convencionales. En particular, el proceso es un proceso integrado en uno o más procesos existentes de extracción de elementos valiosos.

Además, el proceso de la invención no requiere el uso de cianuro ni mercurio, elementos tóxicos usados convencionalmente en el procesamiento de oro y plata que requieren estrictos controles de seguridad y medioambientales. Adicionalmente, el proceso de la invención proporciona un procedimiento alternativo, responsable con el medio ambiente, para la extracción de metales preciosos como oro y plata que no genera SO₂ ni otros contaminantes perjudiciales para el medio ambiente.

Los términos “elemento”, “mineral” y “metal” se usan de forma intercambiable en esta memoria descriptiva.

“Refractario” se emplea típicamente para indicar un material que rinde menos del 90 % de recuperación de oro y/o plata cuando se somete a lixiviación con cianuro, incluso con adiciones de cianuro en gran exceso.

Para los fines de esta solicitud, la frase “material refractario o intratable” indica menas, concentrados, residuos u otros materiales que se seleccionan de entre las categorías siguientes:

1. sulfuros **refractarios convencionales** (las partículas de oro o plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados) - se tratan típicamente por oxidación a presión o bacteriana, tostación y/o molienda ultrafina;

2. sulfuros **refractarios submicroscópicos** (denominados ocasionalmente “disolución sólida”) - (las partículas de oro o plata son mucho menores que los tamaños de molienda convencionales, de manera que no pueden observarse con el microscopio electrónico de barrido y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados) - se tratan típicamente por oxidación a presión o bacteriana o tostación;

3. materiales con efecto “**preg-robbing**” (robo de disoluciones enriquecidas) (hay presentes materia carbonosa u otros minerales sorbentes como arcillas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por adsorción o “robo de disoluciones enriquecidas” del oro o la plata lixiviados de las disoluciones de lixiviación con cianuro) - se tratan típicamente por tostación o cegamiento con queroseno, junto con el uso de una disolución de cianuro más concentrada y mayor adición de carbono;

4. materiales **bloqueados por carbono** (hay presente materia carbonosa como querógeno que puede reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física) - se tratan típicamente por tostación;

5. sulfuros **doblemente refractarios** (las partículas de oro o plata son menores que los tamaños de molienda convencionales y están encapsuladas en diversos minerales sulfurados; también hay presentes materia carbonosa u otros minerales sorbentes que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física o “robo de disoluciones enriquecidas” de las disoluciones de lixiviación con cianuro) - se tratan típicamente por tostación u oxidación alcalina a presión;

6. **relaves de calcinado** (residuo después de la tostación y subsiguiente lixiviación con cianuro de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

7. materiales **bloqueados por silicatos o aluminatos** (hay presentes materia o fases aluminosas/silíceas que pueden reducir las recuperaciones de oro y plata por encapsulación física, recubrimiento o adsorción) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

8. **material refractario que se considera que tiene microagrupaciones que contienen oro o MGP** (p. ej., “oro nanométrico”, “oro nanodimensional”, “aururos”, etc., que pueden incluir también otros elementos, como Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La, etc., a cuya escala los enlaces pueden ser más fuertes que aquellos entre átomos interiores y, por consiguiente, el comportamiento químico de los metales preciosos puede verse alterado por el, así denominado, efecto “adhesivo”) - típicamente no puede tratarse mediante procedimientos convencionales;

9. **escorias** (residuo después de la fundición de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales;

10. **relaves de amalgamación** (residuo después de la amalgamación con mercurio de concentrados o menas, que contiene oro o plata encapsulados físicamente en la matriz restante) - se tratan típicamente mediante tostación, junto con una mayor adición de cianuro; y

11. **fases de minerales refractarios en menas** que contienen oro o plata (algunos ejemplos incluyen diversos minerales que lixivian lenta o pobremente con cianuro como electro Au-Ag, acantita Ag₂S, aurostibita AuSb₂, calaverita AuTe₂, silvanita (Ag,Au)Te₂, entre otros) - se tratan típicamente mediante tostación o cocción con cal, junto con una mayor adición de cianuro;

12. **desechos electrónicos, catalizadores agotados y otros desechos con contenido de metales preciosos** (una diversidad de tales materiales con una gama de características de respuesta metalúrgica se encuentra cada vez más disponible) - se tratan típicamente mediante una amplia gama de tecnologías de separación mecánica, pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas y biohidrometalúrgicas; o

- 5 13. **concentrados no refractarios específicos** (en particular, casos en los que el procesamiento convencional no es posible (p. ej., el uso de cianuro está prohibido), los concentrados son de baja ley, contienen elementos perjudiciales para el procesamiento convencional o el recurso es demasiado poco importante para justificar una instalación de tratamiento independiente) - típicamente no pueden tratarse mediante procedimientos convencionales, a menos que pueda establecerse un acuerdo de tratamiento por encargo con una instalación adecuada.
- “MGP” indica rutenio (Ru), rodio (Rh), paladio (Pd), osmio (Os), iridio (Ir) y platino (Pt).
- 10 “Metales preciosos”, se refiere a oro (Au), plata (Ag) y MGP, en los pocos casos en que las menas con metales preciosos también contienen MGP asociados de menor importancia.
- 15 Según se usa en este documento, “metales básicos” se refiere metales no ferrosos industriales, excluidos los metales preciosos, como aluminio, cobre, plomo, níquel, estaño, tungsteno, cinc, cadmio y manganeso. “Elementos de tierras raras” se refiere a un grupo de elementos metálicos químicamente similares que comprende la serie lantánida (quince elementos), escandio e itrio. “Metales raros” se refiere a un grupo de metales que incluye las tierras raras, germanio, galio, indio, escandio y otros metales de valor nominal que puede ser rentable recuperar, incluidos uranio, torio, molibdeno y vanadio.
- 20 “KellGold” designa el proceso descrito en la presente solicitud. “Kell” designa el proceso esencial descrito en el documento WO 99/60178 y procesos modificados de las solicitudes de patente asociadas WO 2014/09928 o AU 2013263848 para la recuperación de MGP y metales básicos de concentrados.
- 25 Para los fines de esta solicitud, los términos “a presión y/o en condiciones atmosféricas” y “etapa de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente” indican una etapa de lixiviación con ácido sulfúrico que comprende cualquiera o una combinación de una lixiviación atmosférica convencional (20-100 °C), a baja (100-130 °C), media (130-220 °C) o alta (220-260 °C) temperatura y a presión con el uso de ácido sulfúrico.
- 30 El término “etapa de acondicionamiento ácido en caliente” indica una lixiviación atmosférica convencional (20-100 °C) o a baja (100-130 °C) temperatura y a presión con el uso de ácido sulfúrico.
- Una “etapa de acondicionamiento alcalino en caliente” indica una cocción con cal a un pH de 10-14.
- 35 Una “etapa de lixiviación atmosférica” indica una lixiviación atmosférica convencional (20-100 °C) de temperatura y presión con el uso de ácido sulfúrico.
- Una “etapa de lixiviación con cloruro” indica una lixiviación convencional atmosférica (20-100 °C) o a baja (100-130 °C) temperatura y a presión en condiciones oxidantes con el uso de ácido clorhídrico o salmuera salina, junto con un agente oxidante como cloro, hipoclorito, compuestos nítricos, peróxido de hidrógeno u otros conocidos por los expertos en la técnica.
- 40 El término “enfriamiento y envejecimiento” en el contexto de esta solicitud indica dejar reposar la PLS u otro licor del proceso durante un periodo de tiempo, opcionalmente con la adición de sólidos de siembra de una etapa subsiguiente de separación sólido-líquido y opcionalmente con la aplicación de refrigeración externa.
- 45 El término “elementos comercializables” o “metales comercializables” se refiere a cualquier elemento o metal que es capaz de generar un beneficio a través de la venta del elemento o metal en forma metálica o como sal o precipitado del metal o elemento.
- 50 Existe una gama considerable de materiales que son intratables mediante las tecnologías convencionales actuales o que responden pobremente o pueden requerir el desarrollo de diagramas de flujo específicos, el diseño y la construcción de una planta a medida que puede ser demasiado costosa para justificar el capital invertido, dada la importancia del recurso concreto. En todos los casos, la recuperación final de los metales preciosos puede ser inferior a la deseada. Los solicitantes han desarrollado un proceso según se describe en este documento que acepta una gran variedad de tipos de material refractario y no refractario como materia prima, sin modificaciones o con modificaciones mínimas del circuito de un tipo de materia prima a la siguiente, y que no requiere el uso de reactivos tóxicos con contenido de cianuro o mercurio.
- 55 Tal como se proporciona en mayor detalle en las etapas a continuación, una característica de la invención que permite mayor recuperación de metales básicos y metales preciosos es la capacidad de reciclar toda corriente de sulfato que se produce dentro del circuito de lixiviación con cloruro, incluido el lodo de sulfatos metálicos del circuito de recuperación del HCl, y la disolución de la oxidación a presión/lixiviación atmosférica de los sulfuros de MP de vuelta al circuito de lixiviación con sulfato para la recuperación de los metales básicos, siempre que se haya retirado el cloruro de la disolución. Las disoluciones pueden reciclarse de vuelta a la alimentación de la oxidación a presión o a la alimentación de la lixiviación atmosférica, dependiendo del balance de agua y ácido de la aplicación concreta. El
- 60
- 65

aumento de la recuperación se consigue por a) la lixiviación secundaria de los metales básicos en el circuito de lixiviación con cloruro y b) en la manera en la que el HCl se regenera por destilación del ácido sulfúrico.

Con fines de referencia, el “proceso Kell esencial” para la recuperación de MGP y metales básicos de concentrados implica:

- (i) lixiviar una mena o concentrado hecho de una mena en una lixiviación con sulfato y oxidación a presión para disolver los sulfuros de los metales básicos contenidos en la mena o concentrado y formar un filtrado de la lixiviación con sulfato que contiene metales básicos y un residuo que contiene metales del grupo del platino (MGP);
- (ii) separar el filtrado de la lixiviación con sulfato del residuo;
- (iii) tostar o tratar térmicamente el residuo para formar un calcinado; y
- (iv) lixiviar el calcinado en una lixiviación con cloruro para disolver los MGP en una disolución y formar un filtrado de la lixiviación con cloruro para la recuperación de los MGP y un residuo de desecho sólido.

El proceso Kell esencial se muestra esquemáticamente en la figura 1.

Tal como se ilustra en la figura 2, una realización de la invención es un proceso hidrometalúrgico para la extracción de elementos comercializables, incluidos metales valiosos, en particular oro y plata, de una gama de materias primas bastante diferentes que comprenden tipos de materiales refractarios o intratables. Una clave del proceso reside en su capacidad de obtener altas recuperaciones de Au y Ag, junto con subproductos, como Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Sc, H₂SO₄, S, MGP y otros, por tratamiento de materias primas separadas o mezcladas que comprenden diversos sulfuros refractarios, no refractarios y carbonosos, silicatos, calcinados y otros materiales en un proceso multietapa pero único. La retirada de la mayor parte del azufre y los metales básicos en la primera fase del proceso facilita la rápida retirada de los metales preciosos y los metales básicos restantes en la segunda fase del proceso. Este proceso evita totalmente el uso de sustancias tóxicas como cianuro o mercurio en el proceso de recuperación y también evita la emisión a la atmósfera de contaminación de dióxido de azufre y otros elementos medioambientalmente problemáticos.

Las materias primas (**10**) introducidas en el proceso pueden ser tal como se extraen, tal como se reciben o pueden haberse desmenuzado a un tamaño de grano fino. Las materias primas de entrada (**10**) pueden haberse sometido también a una etapa de beneficio previo, como cribado, calibrado, clasificación, separación magnética, separación electrostática, separación en medios densos, ordenamiento radiométrico, ordenamiento óptico o separación por gravedad, para concentrar los metales valiosos o rechazar un componente de ganga. Sin embargo, la necesidad y el tipo de desmenuzamiento o beneficio en esta fase vendrán dictados por las características específicas del material.

El proceso puede comprender una primera etapa en la que una materia prima (**10**) se somete a una etapa de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente (**12**) a presión y/o en condiciones atmosféricas para producir una lechada de producto que comprende sulfatos de metales valiosos en disolución y un residuo sólido que contiene metales valiosos. El residuo sólido se separa entonces de los sulfatos metálicos en disolución por un medio de separación sólido-líquido (**14a**) como filtración u otro medio conocido por los expertos en la técnica.

La lechada producto de la lixiviación con ácido sulfúrico que comprende la PLS de sulfato y un residuo sólido puede tratarse posteriormente mediante una lixiviación atmosférica convencional o a baja presión con ácido sulfúrico (**16**), lo que permite la retirada o la conversión del exceso de sulfatos de hierro y/o jarositas del residuo sólido a la PLS de sulfato para su retirada mediante precipitación de hidróxido férrico por burbujeo de aire u oxígeno, en condiciones atmosféricas o presurizadas.

Si se requiere para tipos de menas específicos, la lechada producto de la lixiviación con ácido sulfúrico se somete a una etapa de acondicionamiento que comprende un tratamiento ácido o alcalino.

Los metales comercializables pueden recuperarse mediante una etapa de recuperación de metales básicos (**18**) de cualquiera de las disoluciones que comprenden sulfatos metálicos, incluida la lechada producto de la lixiviación con ácido sulfúrico, por medio de técnicas como extracción con disolventes, intercambio iónico, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción, reciclaje y otras técnicas conocidas por los expertos en la técnica, sobre la base de consideraciones tecnoeconómicas.

Opcionalmente, también pueden aplicarse las técnicas descritas en el documento WO 2014/009928, que permiten la recuperación del ácido sulfúrico y la precipitación de un producto de hierro potencialmente comercializable o almacenable. Específicamente, el residuo sólido puede someterse en primer lugar a un tratamiento térmico (**20a**) para producir gases de escape que comprenden azufre, y los gases de escape pueden someterse después a un proceso de recuperación de azufre:

- a. por condensación como producto intermedio de azufre elemental;
- b. con la obtención de un producto intermedio de ácido sulfúrico; o

c. a partir de gases de escape más secos, con la obtención de un producto intermedio de sulfuro, polisulfuro, politionato, tiosulfato o similar.

5 Típicamente, el tratamiento térmico se realizará a aproximadamente 80-750 °C durante hasta 120 minutos, preferentemente a aproximadamente 300-700 °C durante 10 a 30 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, para retirar los componentes volátiles del residuo sólido y reducir o invalidar las características de robo de disoluciones enriquecidas del material.

10 En caso necesario, puede realizarse un tratamiento térmico adicional (**20b**) a aproximadamente 500-1.000 °C durante hasta 120 minutos, preferentemente a aproximadamente 700-1.000 °C durante 30 a 120 minutos, en condiciones oxidantes, neutras o reductoras, para acondicionar los metales valiosos para que sean solubles en el medio de lixiviación de cloruro. Adicionalmente, esta etapa puede invalidar o modificar las propiedades de robo de disoluciones enriquecidas y encapsulación o recubrimiento de los minerales carbonosos y arcillosos, y desbloquear así los metales preciosos para su lixiviación. Por ejemplo, la jarosita argentífera presente en el material se descompondría a 400-700 °C en la etapa de tratamiento térmico, lo que haría la plata disponible para una lixiviación con cloruro. Sin embargo, si una proporción económicamente suficiente del oro y la plata ya es soluble y el material no muestra características de robo de disoluciones enriquecidas sin necesidad del tratamiento térmico adicional, esta etapa puede omitirse. Los procesos térmicos pueden realizarse como etapas individuales de un proceso de tratamiento térmico secuencial o como una etapa combinada.

20 La etapa de lixiviación con cloruro (**22**) puede optimizarse para la recuperación y/o separación eficaz de algunos de los elementos comercializables que pueden estar presentes en la materia prima de composición múltiple. Específicamente, la etapa de lixiviación con cloruro (**22**) puede realizarse en condiciones oxidantes con ácido clorhídrico o salmuera salina junto con un agente oxidante como cloro, hipoclorito, compuestos nítricos, peróxido de hidrógeno u otros conocidos por los expertos en la técnica. Los elementos valiosos, como Au, Ag, así como Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, (es decir, MGP), Ni, Co, Cu, ETR, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V, Ti, Ge o Ga, se lixivian a la disolución de lixiviación enriquecida (PLS).

30 Los metales preciosos, incluidos oro y plata, se separan y recuperan (**24**) de la PLS de cloruro mediante procedimientos convencionales conocidos por los expertos en la técnica, que pueden incluir técnicas como extracción con disolventes, intercambio iónico, precipitación mediante hidróxidos, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción y otras. La selección de procesos unitarios específicos para la separación y/o recuperación de elementos valiosos subproducto se hace sobre la base de consideraciones tecnoeconómicas y de requisitos de los productos, como la producción de metales puros en forma de polvo, "esponja", barras de fundición o precursores de productos finales, como disoluciones de formas catalizadoras. En algunos casos, puede ser preferible un producto menos puro. Para conseguir la separación y/o recuperación de estos elementos de la PLS de cloruro, pueden usarse técnicas como extracción con disolventes, intercambio iónico, precipitación mediante hidróxidos, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción y otras. En particular, se espera que ciertas menas con contenido de oro y contenido de plata por igual, que producen bajas recuperaciones con el uso de tratamientos convencionales, produzcan altas recuperaciones con el uso de la técnica del proceso KellGold.

45 Los elementos comercializables incluirán, en particular, oro y plata, pero pueden incluir adicionalmente otros metales valiosos como metales del grupo del platino (MGP) y metales raros. Estos metales se separan por medio del proceso de otros metales valiosos como níquel, cobalto y cobre y, adicionalmente, elementos de tierras raras, incluidos itrio y escandio, y uranio, torio, vanadio, titanio, manganeso, cinc y cadmio, mientras que también pueden extraerse componentes de hierro como productos potencialmente comercializables.

50 Los ácidos clorhídrico y/o sulfúrico del proceso pueden reciclarse para reducir los costes operativos y durante este proceso de reciclaje pueden recuperarse cantidades adicionales de metales. Por ejemplo, algunos metales básicos como níquel, cobre y cobalto pueden recuperarse como sulfatos en aguas de lavado de los residuos finales y pueden reciclarse junto con el ácido sulfúrico a corrientes de sulfato en etapas más tempranas del proceso. Las disoluciones ácidas de sulfatos recuperadas pueden reciclarse de vuelta a las corrientes de sulfato de un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell según se reivindica en cualquiera de los documentos WO 99/60178, WO 2014/009928 o AU 2013263848.

55 Cualquier oro, plata, MGP u otros metales valiosos, si están presentes, fugitivos de menor importancia pueden recuperarse igualmente como cloruros en aguas de lavado de los residuos finales y pueden reciclarse junto con el ácido clorhídrico a corrientes de cloruro en etapas más tempranas del proceso o recuperarse directamente. Por ejemplo, la disolución de ácido clorhídrico recuperada puede reciclarse de vuelta a una etapa de cloración de un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell según se reivindica en los documentos WO 99/60178, WO 2014/009928 o AU 2013263848.

65 Resinas IX, quelantes (p. ej., tiol, tiouronio, poliamina u otras) o sorbentes, fibras, carbones, materiales biológicos u otros materiales son capaces de recuperar pequeñas cantidades de oro, plata, MGP u otros metales valiosos, si están presentes, fugitivos de menor importancia de disoluciones no enriquecidas de precipitación con sulfuro, licores de aumento de la ley de productos intermedios o PLS de metales básicos.

La lixiviación por cloración requiere el uso de ácido clorhídrico, que se aprovechará por recuperación y reciclaje. Se logran varios resultados en un proceso particular, consistente en someter la corriente de cloruro no enriquecida de la etapa de lixiviación por cloración a un tratamiento de precocción-rectificación-recocción (26), que permite la recuperación de ácido clorhídrico concentrado, la retirada de calcio y la recuperación de sales sulfato de metales residuales, como cobre, níquel, cobalto, rodio, rutenio, iridio, vanadio, germanio, galio o escandio, para su reciclaje o recuperación. La disolución de cloruro no enriquecida (después de la recuperación de los metales preciosos primarios y rescatados y otros elementos fugitivos) se somete a la recuperación de ácido y metales explotando las diferencias de solubilidad de los sulfatos de los metales en las condiciones seleccionadas. La disolución de cloruro no enriquecida se pone en contacto con ácido sulfúrico al 70 % y se precalienta en una etapa de precocción en la que la mayor parte del ácido clorhídrico se libera por ebullición para su recuperación. El calcio se retira mediante la precipitación de yeso en esta etapa, con la subsiguiente separación sólido-líquido por espesamiento y filtración, lo que genera restos sólidos de desecho. Parte del flujo inferior de espesante se recicla al reactor de contacto como material de siembra.

La disolución pobre en calcio se introduce por la mitad inferior de una columna de destilación mientras se introduce ácido sulfúrico adicional al 60-80 % por la parte superior de la columna en una dosis dictada por la concentración requerida para el ácido clorhídrico recuperado. Un recocedor calentado por vapor u otros medios se usa para calentar el licor en el fondo de la columna a aproximadamente 110-160 °C, mientras la parte superior de la columna está a aproximadamente 95-1.250 °C. La mayor parte del agua se mantiene sin volatilizar, mientras que el ácido clorhídrico se volatiliza casi por completo.

Los vapores de la columna y el precocedor pasan a través de una columna de absorción refrigerada por agua, en la que el ácido clorhídrico se recupera por absorción en el agua de lavado del filtro de cloración, lo que produce un ácido clorhídrico del 25-40 %, adecuado para su uso en la lixiviación por cloración primaria, mientras el agua de lavado se reutiliza directamente.

Un ácido sulfúrico diluido (aproximadamente al 35-65 %) se descarga por el fondo de la columna y se pasa a un evaporador para recuperar el agua absorbida para su reutilización, lo que produce un ácido sulfúrico a aproximadamente el 60-80 % que se somete a una etapa de enfriamiento y envejecimiento en depósitos de almacenamiento, donde los sulfatos metálicos sobresaturados cristalizan y se recogen. El ácido sulfúrico y los metales contenidos se recuperan o se reutilizan reciclándolos en el circuito de recuperación de metales básicos del proceso KellGold, en las etapas de prelixiviación, oxidación a presión y/o lixiviación ácida atmosférica. El contenido de ácido se usa en el circuito primario de lixiviación de metales básicos, mientras que los sulfatos metálicos se disuelven en esta etapa y se recuperan en el circuito de metales básicos, con lo que la recuperación general de metales básicos del proceso aumenta hasta valores elevados.

Los vapores del evaporador pasan a un condensador refrigerado por agua, donde se condensan para dar un licor adecuado para su uso como agua de lavado del filtro de cloración en una segunda fase. El ácido sulfúrico concentrado (aproximadamente al 60-80 %) que se recupera se recicla a un depósito de preparación de ácido sulfúrico, al que se añade ácido sulfúrico al 98 % para preparar el sulfato que se retira a la torta de filtro y se recicla al circuito de metales básicos del proceso. El ácido sulfúrico preparado queda entonces disponible para su reutilización en las secciones de precocción y precalentamiento del circuito.

En una innovación específica más descrita en este documento, el proceso KellGold reúne ventajas tecnoeconómicas significativas por su integración con una planta de un proceso Kell independiente para la recuperación de MGP y metales básicos de concentrados. Tal como se ilustra en la figura 3, el uso de reactivos comunes, así como de unidades de preparación, recuperación de metales básicos, recuperación de metales preciosos y reciclaje de HCl o partes de las mismas, reduce considerablemente los costes de operación específicos de las dos plantas. Además, la capacidad de la planta de KellGold de aceptar y tratar por encargo suministros de fuentes múltiples de diversos tipos de materias primas problemáticas muy diferentes, refractarias, no refractarias y otras, se considera una innovación significativa. La localización de una instalación semejante de tratamiento por encargo junto a otra instalación similar presenta claras ventajas.

Un ejemplo adicional de sinergias potenciales a través de colocación e integración se muestra en la figura 4. La lixiviación en pilas de menas de cobre de baja ley, en particular, pero también de níquel/cobalto y otros metales, se considera bastante normal en la actualidad. El ácido producido en el proceso KellGold se utiliza dirigiendo la PLS de sulfato a la lixiviación en pilas y el circuito asociado de recuperación de metales básicos, con lo que se consiguen menores costes de capital y operación que con cualquiera de las dos como instalación independiente.

Menas y concentrados de cobre de mayor ley típicamente contienen oro, el cual se obtiene como crédito del fundidor. Las condiciones de pago de los fundidores pueden ser desfavorables para los productores en localizaciones remotas y en operaciones particularmente pequeñas. El proceso KellGold puede manejar fácilmente el tratamiento por encargo de concentrados de cobre-oro, mediante lo cual proporciona una opción potencialmente atractiva para que estas operaciones consigan mayores recuperaciones de metal y beneficios económicos.

Extracción de elementos preciosos, básicos y raros de materiales refractarios o intratables de distintos tipos

Los ejemplos siguientes se proporcionan para demostrar la eficacia del proceso KellGold descrito en este documento y se han aplicado a la recuperación y separación de metales preciosos como oro y plata, así como metales básicos y/o raros de una diversidad de materiales refractarios o de otro modo intratables o convencionalmente intratables, lo que resulta en una recuperación y/o separación potencialmente económica de múltiples elementos valiosos y la posible reutilización o regeneración de reactivos, y en que la retirada de la mayor parte del azufre y los metales básicos en la primera fase del proceso facilita la fácil retirada de los metales preciosos y los metales básicos restantes en la segunda fase del proceso.

Sin embargo, los ejemplos no deben interpretarse como limitantes en ningún modo del alcance de la invención.

EJEMPLOS

En el primero de los ejemplos siguientes, se llevan a cabo pruebas en una gama de tipos de materiales para demostrar en primer lugar la superior capacidad de extracción de los elementos valiosos con el uso de un medio de lixiviación por cloración, según se prefiere en el proceso descrito, en comparación con la inferior capacidad de extracción de los elementos valiosos con el uso de un medio de lixiviación por cianuración, tal como se usa típicamente de manera convencional. En todos estos casos, se llevó a cabo una prueba comparativa con una botella giratoria de lixiviación con cianuro convencional (BLEG), en las condiciones consideradas estándar en la industria.

En los ejemplos siguientes, se llevó a cabo una prueba del proceso KellGold completo en una muestra molida de cada material, lo que conllevó una oxidación a presión para la extracción de los metales básicos y una lixiviación por cloración para la extracción de metales preciosos como Au y Ag.

EJEMPLO 1

Extracción de metales preciosos y básicos de diversas materias primas

En este ejemplo, se obtuvieron para su prueba siete muestras refractarias seleccionadas de concentrados y productos de procesamiento con contenido de oro, que cubrían una amplia gama de leyes de metales preciosos, contenidos de cobre, azufre y carbono orgánico, así como grados de refractariedad con respecto a la lixiviación con cianuro convencional. Los ensayos de cabeza se resumen en la tabla 1, mientras que las capacidades de extracción con cloruro y cianuro se resumen en la tabla 2.

Tabla 1 - Ensayos de cabeza para una mena, concentrados y relaves sulfurados carbonosos refractarios

Muestra	Ensayo (g/t)					Ensayo (%)	
	Au	Ag	As	Cu	Sb	S	C
Mena carbonosa refractaria	1,0	0,2	2.980	81	95,5	2,7	2,5
Concentrado refractario	132,5	22,6	4.650	1.050	113,0	25,0	1,3
Relaves de lixiviación de calcinado	4,8	11,0	3.950	857	107,0	2,2	0,1
Relaves de lixiviación de calcinado	2,6	11,6	1.230	1.430	68,0	2,2	0,1
Relaves de amalgamación	1,5	0,8	2.270	133	25,3	0,0	0,0
Concentrado refractario	21,2	50,9	88.000	2.190	717,0	28,7	1,4
Concentrado de Cu/Au	67,6	54,5	652	170.000	10,2	26,0	0,2

Los porcentajes indicativos del Au, Ag y Cu extraíbles con cianuro y extraíbles con cloruro para las siete materias primas en consideración se resumen en la tabla 2. Este ejemplo ofrece un nivel de prueba preliminar, en el que los resultados solamente dan indicación de la potencial aptitud del material para su procesamiento mediante el proceso KellGold. Los resultados de solubilidad con cianuro son de pruebas individuales estándar de lixiviación con cianuro a pequeña escala (BLEG), en condiciones de exceso de cianuro y cal, que no han sido sometidas a lixiviación monitorizada y equilibrada y recogida de datos cinéticos y de consumo de reactivos. Los resultados de la capacidad de extracción con cloruro son de pruebas individuales estándar de lixiviación con agua regia a pequeña escala, en condiciones de exceso de reactivo, que no han sido sometidas a lixiviación monitorizada y equilibrada y recogida de datos cinéticos.

Tabla 2 - Resumen de las recuperaciones mediante KellGold de una mena, concentrados y relaves sulfurados refractarios

Muestra	Soluble con cianuro, %			Soluble con cloruro, %		
	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
Mena carbonosa refractaria	38	205*	24	93	185*	85
Concentrado refractario	68	74	25	106	116	83
Relaves de lixiviación de calcinado	21	3	4	87	94	78
Relaves de lixiviación de calcinado	27	10	14	100	30	65
Relaves de amalgamación	82	116#	4	124#	139#	86

Concentrado refractario	3	51	53	99	89	83
Concentrado de Cu/Au	8	0	1	100	108	X

*Ensayo de cabeza anómalo (aproximadamente 0,2 g/t Ag); #ensayo de cabeza anómalo (sospecha de interferencia de Hg); X - no ensayado

- 5 Las muestras mostraron una gama de capacidades de extracción con cianuro, en que la totalidad de las siete muestras se clasificaron como refractarias según la definición de La Brooy² de una capacidad de extracción de oro <90 % por cianuración (en el intervalo del 3-82 %). Las capacidades de extracción de plata y cobre por cianuración son también generalmente bajas y por cloración generalmente altas.

10 **EJEMPLO 2**

Recuperación de metales preciosos y básicos de un concentrado de arsenopirita aurífera refractaria

15 En este ejemplo, se estudió un concentrado de arsenopirita aurífera refractaria y el ensayo de cabeza se resume en la tabla 3. Aproximadamente 2 kg de concentrado mezclado sin más molienda ni otro pretratamiento se cargaron en una autoclave de 15 l y se sometieron a oxidación a presión con inyección de oxígeno durante 60 minutos. La presión se descargó entonces mediante un sistema de reducción rápida, con la lechada mantenida subsiguientemente en un depósito agitado de aquí en adelante antes de una separación sólido-líquido por filtración a presión. La torta de filtro se secó y se dividió para su análisis y de una porción (aproximadamente 0,5 kg) se hizo una lechada con una disolución de ácido clorhídrico y se sometió a cloración en dos etapas, con filtración entre las etapas. El residuo final se sometió de nuevo a un análisis químico para determinar las eficiencias de lixiviación de los elementos valiosos. Las recuperaciones mediante KellGold se resumen en la tabla 4, que muestra recuperaciones superiores al 98 % para Au, Ag y Cu. El cobre puede recuperarse típicamente de la disolución por medios convencionales como extracción con disolventes, electrodeposición, intercambio iónico o precipitación. A partir del residuo sólido, del que se han retirado en su mayor parte las especies consumidoras de reactivos, pueden obtenerse Au y Ag, con las altas recuperaciones demostradas en la etapa de cloración, junto con el Cu restante.

Tabla 3 - Ensayos de cabeza para un concentrado de arsenopirita aurífera refractaria

Muestra	Ensayo, g/t			Ensayo, %		
	Au	Ag	Cu	As	S	Fe
Concentrado de arsenopirita aurífera refractaria	21,2	45,1	2.190	8,8	28,7	26,7

30 **Tabla 4 - Resumen de las recuperaciones de metales valiosos mediante KellGold de un concentrado de sulfuro de arsenopirita refractario**

Muestra	Recuperación (%)		
	Au	Ag	Cu
Concentrado de arsenopirita aurífera refractaria	98,3	98,7	99,6

EJEMPLO 3

35 **Recuperación de metales preciosos y básicos de un concentrado de piritita aurífera refractaria**

40 En este ejemplo, se estudió un concentrado aurífero refractario y el ensayo de cabeza se resume en la tabla 5. Aproximadamente 2 kg de concentrado mezclado sin más molienda ni otro pretratamiento se cargaron en una autoclave de 15 l y se sometieron a oxidación a presión con inyección de oxígeno durante 60 minutos. La presión se liberó entonces mediante un sistema de reducción rápida, con la lechada mantenida subsiguientemente en un depósito agitado de aquí en adelante antes de una separación sólido-líquido por filtración a presión. La torta de filtro se secó y se dividió para su análisis y de una porción (aproximadamente 0,5 kg) se hizo una lechada con una disolución de ácido clorhídrico y se sometió a cloración en dos etapas, con filtración entre las etapas. El residuo final se sometió de nuevo a un análisis químico para determinar las eficiencias de lixiviación de los elementos valiosos. Las recuperaciones mediante KellGold se resumen en la tabla 6, que muestra recuperaciones superiores al 95 % para Au, Ni, Cu y Co. Los metales básicos Ni, Cu y Co pueden recuperarse típicamente de la disolución por medios convencionales como extracción con disolventes, electrodeposición, intercambio iónico o precipitación. A partir del residuo sólido, del que se han retirado en su mayor parte las especies consumidoras de reactivos, se obtienen Au y Ag, con las altas recuperaciones demostradas en la etapa de cloración, junto con el resto de Ni, Cu y Co.

50

Tabla 5 - Ensayos de cabeza de un concentrado de pirita aurífera refractaria

Muestra	Ensayo, g/t				Ensayo, %	
	Au	Ni	Cu	Co	Fe	S
Concentrado de pirita aurífera refractaria	51	700	1.500	390	20,6	15,2

Tabla 6 - Resumen de las recuperaciones de metales valiosos mediante KellGold de un concentrado de pirita aurífera refractaria

Muestra	Recuperación (%)			
	Au	Ni	Cu	Co
Concentrado de pirita aurífera refractaria	95,5	99,8	98,4	97,3

5

EJEMPLO 4

Recuperación de metales preciosos y básicos de un concentrado sulfurado polimetálico refractario

10 Es este ejemplo, se estudió un concentrado polimetálico refractario de Au-Ag-Cu-Zn-Pb y el ensayo de cabeza se resume en la tabla 7. Aproximadamente 2 kg de concentrado mezclado sin más molienda ni otro pretratamiento se cargaron en una autoclave de 15 l y se sometieron a oxidación a presión con inyección de oxígeno durante 60 minutos. La presión se liberó entonces mediante un sistema de reducción rápida con la lechada mantenida subsiguientemente en un depósito agitado de aquí en adelante antes de una separación sólido-líquido por filtración a presión. La torta de filtro se secó y se dividió para su análisis y de una porción (aproximadamente 0,5 kg) se hizo una lechada con una disolución de ácido clorhídrico y se sometió a cloración en dos etapas, con filtración entre las etapas. El residuo final se sometió de nuevo a un análisis químico para determinar las eficiencias de lixiviación de los elementos valiosos. Las recuperaciones mediante KellGold se resumen en la tabla 8, que muestra recuperaciones superiores al 98 % para Au, Ag, Cu, Zn y Pb. Los metales básicos Cu y Zn pueden recuperarse típicamente de la disolución por medios convencionales como extracción con disolventes, electrodeposición, intercambio iónico o precipitación. A partir del residuo sólido, del que se han retirado en su mayor parte las especies consumidoras de reactivos, se obtienen Au y Ag, así como Pb con altas recuperaciones en la etapa de cloración, junto con el resto de Cu y Zn.

25

Tabla 7 - Ensayos de cabeza del concentrado polimetálico refractario

Muestra	Ensayo, g/t			Ensayo, %			
	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Fe	S
Concentrado polimetálico refractario	55,7	93	1.970	3,1	3,0	16,8	37,1

Tabla 8 - Resumen de las recuperaciones de metales valiosos mediante KellGold del concentrado polimetálico refractario

Muestra	Recuperación (%)				
	Au	Ag	Cu	Zn	Pb
Concentrado polimetálico refractario	98	100	98	100	99

REIVINDICACIONES

1. Un proceso hidrometalúrgico para la extracción de oro, plata o ambos y opcionalmente uno o más elementos adicionales, como elementos básicos, metales raros y/o elementos raros, de una materia prima refractaria o intratable, en que el proceso consta de las etapas de:

- (i) proporcionar la materia prima a un recipiente de reacción; y
 (ii) someter la materia prima a las siguientes etapas de lixiviación y otras asociadas:

a) una etapa de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente a presión y/o en condiciones atmosféricas para producir una lechada de producto que comprende sulfatos de metales comercializables en disolución y un residuo sólido que contiene metales comercializables;

b) someter la lechada de la etapa a) a una etapa de acondicionamiento que comprende ácido sulfúrico a una concentración de aproximadamente 25-300 g/l o un tratamiento con álcali a un pH de aproximadamente 10-14;

c) separar el residuo sólido que contiene metales comercializables de los sulfatos de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de la etapa b) para obtener un residuo sólido separado;

d) someter el residuo sólido separado de la etapa c) anterior a una etapa de lixiviación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una disolución de lixiviación enriquecida ("pregnant leach solution" o PLS) de cloruro y un residuo sólido intermedio y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro;

e) someter la PLS de cloruro de la etapa d) anterior a una o más técnicas, como intercambio iónico (IX), quelación, tecnología de reconocimiento molecular (MRT), adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso en la PLS de cloruro;

f) someter el producto intermedio en forma de disolución de la etapa e) anterior a la recuperación de ácido clorhídrico, calcio y metales residuales, por medio de una o más etapas como precocción, rectificación, destilación, adsorción, recocción y/o pirohidrólisis, para obtener una lechada de producto que comprende un residuo sólido que contiene metales comercializables y sulfatos de metales comercializables en disolución y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro;

g) someter el residuo sólido de la etapa f) anterior a una etapa de relixiviación con cloruro en un medio de lixiviación de cloruro para producir metales comercializables solubles en una PLS de cloruro purificada y, cuando el medio de lixiviación de cloruro contiene cloruro de hierro, la PLS de cloruro se trata en una etapa adicional de presión, precipitación o cristalización, concentración por evaporación, ósmosis inversa, nanofiltración u otra tecnología de membrana, extracción con disolventes o tratamiento por burbujeo/rectificación, y/o pirohidrólisis para producir un producto con contenido de hierro; y

h) recuperar el oro y la plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso de los productos intermedios sólidos o en forma de disolución de las etapas e), f) o g) anteriores,

en que el proceso incluye opcionalmente someter la materia prima a una o más de las siguientes etapas opcionales adicionales de lixiviación y otras asociadas:

i) someter el producto intermedio sólido o en forma de disolución de la etapa e) a una etapa posterior de purificación y/o aumento de la ley que comprende una o más técnicas como IX, quelación, MRT, adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción;

j) someter la disolución de descarga de la etapa e), f) o g) a una etapa de sorción, mediante la cual los MP comercializables como oro y plata se adsorben a una o más resinas, como una resina IX o un sorbente, y los metales básicos se descargan en una disolución, seguida de la elución de los metales comercializables adsorbidos, como oro y plata, de la resina IX o el sorbente y la precipitación del oro y la plata del eluido mediante un reductor, o la incineración directa de la resina o el sorbente cargados para producir un concentrado de metales valiosos de alta ley o productos de metales valiosos individuales, o mediante la cual el oro y/o la plata comercializables se someten a una etapa posterior de precipitación con sulfuro para producir una segunda lechada de producto, seguida de una separación sólido-líquido de un residuo sólido secundario de la segunda lechada de producto para su purificación posterior por un procedimiento como los indicados en la etapa e), o la venta directa a una tercera parte;

5 k) someter la PLS de cloruro de la etapa g) a una o más técnicas, como IX, quelación, MRT, adición de sorbentes poliméricos u otros, extracción con disolventes, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición y/o reducción, para producir uno o más productos intermedios sólidos o en forma de disolución para la recuperación de oro y plata, así como cualquier otro metal básico o raro valioso en la PLS de cloruro;

l) separar el residuo sólido que contiene metales comercializables de los sulfatos de metales comercializables en disolución de la lechada de producto de las etapas f), g), i), j) o k) y después proporcionar el residuo sólido separado resultante a la etapa b) o d);

10 m) recuperar los metales comercializables de los sulfatos metálicos en disolución del producto intermedio de mayor ley de la etapa i) por medio de técnicas como extracción con disolventes, IX, precipitación mediante hidróxidos, amoníaco, carbonatos o sulfuros, electrodeposición, reducción y/o reciclaje.

2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa f) de recuperación y separación de ácido clorhídrico, calcio y metales básicos residuales comprende:

15 A) suministrar la disolución de descarga de la etapa e) a un evaporador de precocción junto con yeso de siembra, para generar así ácido clorhídrico gaseoso y un precipitado de yeso, a lo que sigue una separación sólido-líquido para obtener yeso precipitado para su recuperación y una disolución de descarga tratada;

20 B) (aa) suministrar la disolución de descarga de la etapa A) a una columna de rectificación de ácido sulfúrico o un recocedor junto con ácido sulfúrico para generar así ácido clorhídrico gaseoso y una disolución de ácido sulfúrico que comprende metales básicos y/o raros comercializables y/o recuperables como cobre, níquel, cobalto, rodio, rutenio, iridio, vanadio, germanio, galio o escandio; o

(bb) suministrar la disolución de descarga de la etapa A) a un reactor de pirohidrólisis para obtener una lechada que comprende un residuo sólido de óxido de hierro para su recuperación y una disolución de metales básicos y/o raros, a lo que sigue una separación sólido-líquido;

25 C) someter la disolución de ácido sulfúrico generada en la etapa B) (aa) o la disolución de metales básicos y/o raros de la etapa B) (bb) a una etapa de enfriamiento y envejecimiento, mediante la cual las sales sulfato de los metales se cristalizan o se someten a una etapa de sorción y se recuperan, por ejemplo, por evaporación o precipitación y/o se reciclan de vuelta a un circuito primario de recuperación de metales básicos de un proceso Kell esencial; y

30 D) someter el ácido clorhídrico gaseoso de la etapa A) o la etapa B) (bb) a destilación y absorción, para recuperar así una disolución de ácido clorhídrico.

35 3. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el medio de lixiviación de cloruro tiene un pH de entre aproximadamente 2,5 y 7,5, mantenido a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C, o una acidez libre de entre aproximadamente 50 y 300 g/l de HCl, mantenida a una temperatura en el intervalo de 50-150 °C.

40 4. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de lixiviación con cloruro se realiza por lixiviación atmosférica o en autoclave a presión con salmuera salina en condiciones oxidantes.

45 5. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el proceso se integra en un proceso existente como un proceso Kell esencial o un proceso de lixiviación en pilas convencional para la recuperación de metales básicos.

Proceso Kell - Diagrama de flujo en bloques

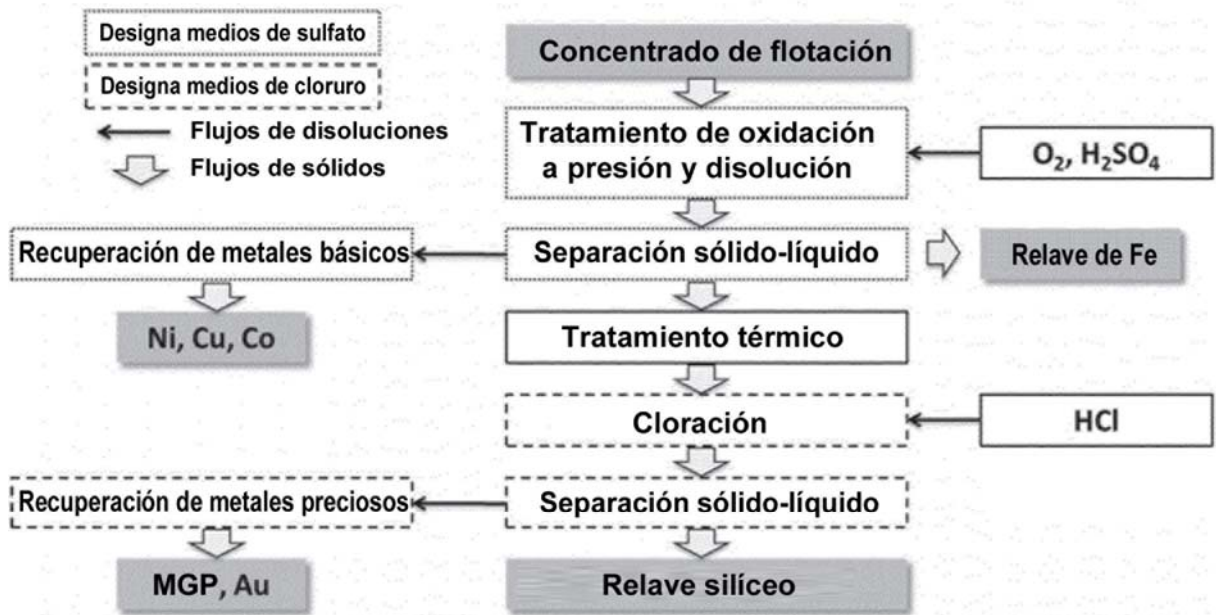


FIG. 1 (TÉCNICA ANTERIOR)

Proceso KellGold - Diagrama de flujo en bloques ¹⁰

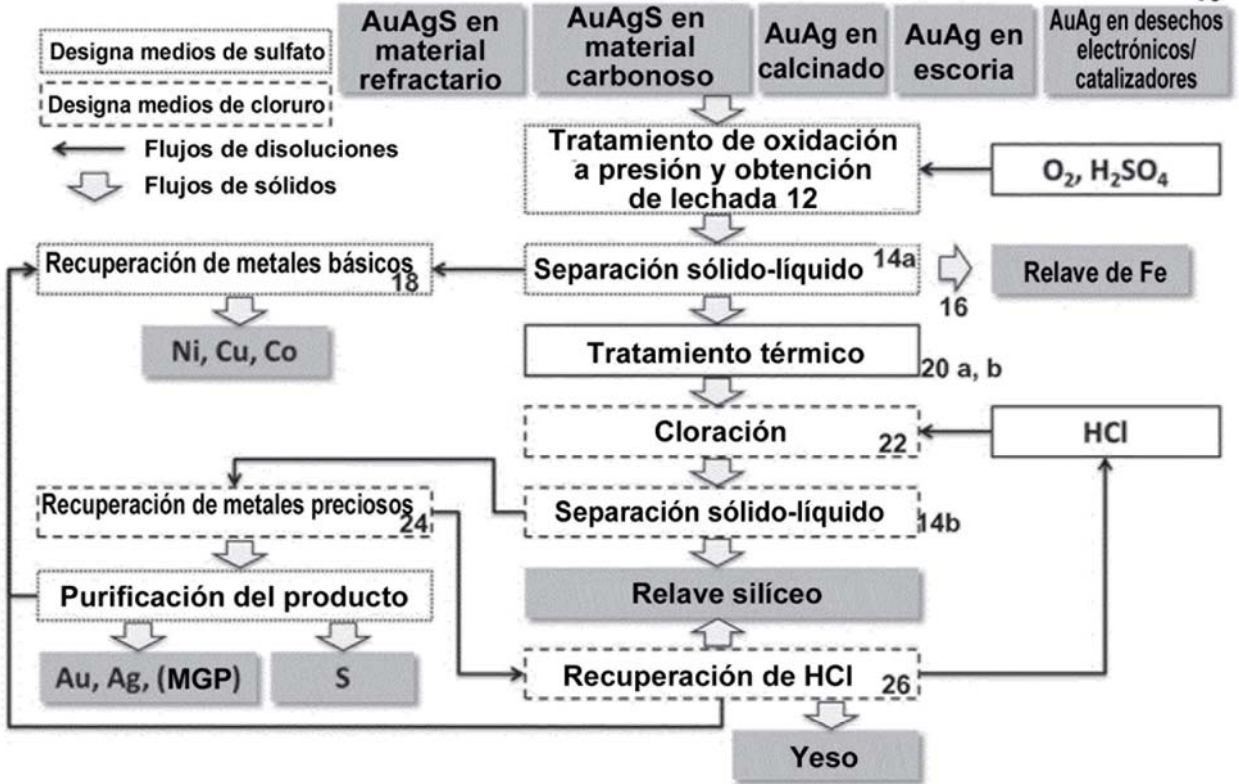


FIG. 2

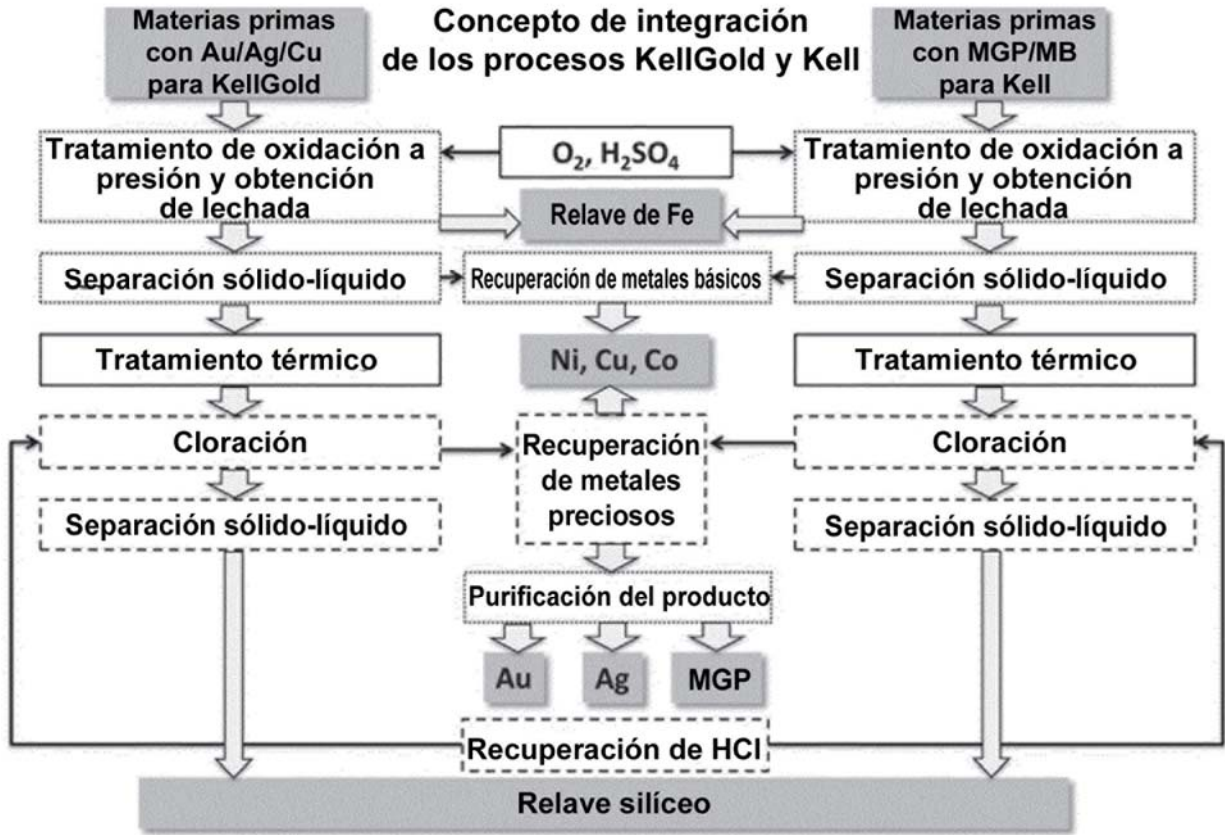


FIG.3

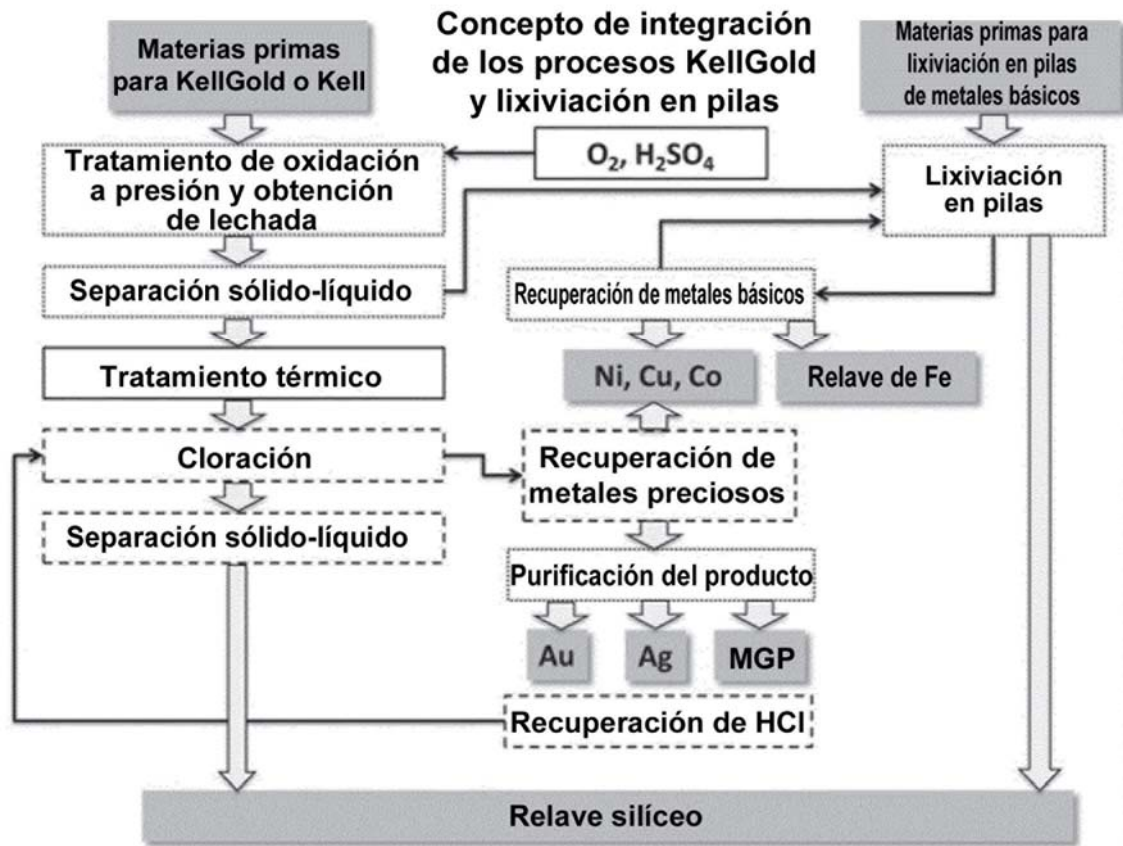


FIG. 4